

CIRCULAR TÉCNICA

167

Brasília, DF  
Agosto, 2019

# Uso de hidrogel nanocompósito na produção de mudas de tomate e pimentão

Marçal Henrique Amici Jorge  
Raphael Augusto de Castro e Melo  
Juscimar da Silva  
Nicole-Marie dos Santos Butruille  
Caue Ribeiro de Oliveira  
Shara Regina dos Santos Borges





# Uso de hidrogel nanocompósito na produção de mudas de tomate e pimentão

## Introdução

No Brasil, a maior parte dos produtores de hortaliças adquire suas mudas de viveiristas profissionais, que contam com infraestrutura específica e mão de obra especializada para esse tipo de produção. A formação de mudas de qualidade está diretamente relacionada ao êxito da produção hortícola, ou seja, o desempenho produtivo das culturas é altamente dependente dessa importante etapa (Nascimento et al., 2016). Este setor modificou-se profundamente nos últimos anos até chegar aos padrões de excelência atuais. São comumente utilizadas bandejas de plástico, rígidas que possuem uma maior vida útil, ou do tipo flexível descartável, por serem mais fáceis de higienizar (Jorge et al., 2016).

Com o uso de bandejas, surge também a preocupação com alguns fatores como o volume das células, tipo de substrato e idade no transplântio. Estes fatores afetam diretamente o desenvolvimento e arquitetura do sistema radicular, assim como o suprimento de nutrientes às mudas, que deve assegurar o crescimento da biomassa aérea, com um volume limitado de raízes, restritas ao pequeno volume das células (Trani et al., 2004). Os

---

**Marçal Henrique Amici Jorge**, Engenheiro Agrônomo, PhD em Fitotecnia (*Plant Science*), Pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

**Raphael Augusto de Castro e Melo**, Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

**Juscimar da Silva**, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

**Nicole-Marie dos Santos Butruille**, Engenheira Agrônoma, mestranda em Agronomia (Produção Sustentável), Universidade de Brasília, Brasília, DF.

**Caue Ribeiro de Oliveira**, Engenheiro de materiais, Doutor em Química, Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP.

**Shara Regina dos Santos Borges**, Engenheira Agrônoma, doutora em Agronomia (Produção Sustentável), Universidade de Brasília, Brasília, DF.

substratos, dependendo da sua formulação, nem sempre contém teores de nutrientes suficientes para promover o desenvolvimento satisfatório das mudas e a maioria dos produtores realiza fertirrigações frequentes. Mesmo em substratos com considerável teor de nutrientes ou fertirrigados, ocorre à lixiviação, provocada pelo excesso de lavagem, resultante do processo de irrigação.

Desse modo, a utilização de fertilizantes de liberação lenta ou controlada de nutrientes entra como alternativa no aumento da eficiência dessas adubações. Também chamados de “fertilizantes inteligentes” são materiais preparados para liberar seu conteúdo de nutrientes gradualmente, coincidindo, se possível, com os requisitos nutricionais de uma planta ao longo de seu ciclo. Nesse sentido, materiais como os hidrogéis têm sido estudados pela sua multifuncionalidade, pois podem absorver grande quantidade de água, preservando a umidade do solo ou substrato, e ao mesmo tempo incorporando nutrientes para sua liberação gradual. Hidrogéis podem ser definidos como estruturas tridimensionais formadas a partir de macromoléculas ou polímeros hidrofílicos entrecruzados que ao absorver água, mesmo em grandes quantidades, são capazes de manter sua estrutura sem sofrer dissolução (Peppas et al., 2000; Sabadini, 2015).

São formados por cadeias longas e flexíveis que são interligadas, física ou quimicamente, que podem absorver, além de água, soluções nutritivas, fluidos biológicos ou outros compostos de interesse (Bortolin, 2014; Guilherme et al., 2015). Devido a essas propriedades, os hidrogéis têm sido usados em diversas áreas e aplicações, tais como: sistemas de liberação controlada de substâncias químicas (Hamidi et al., 2008; Zhang et al., 2004), agricultura (Azevedo, 2002; Bernardi et al., 2012), fabricação de produtos de higiene (Singh et al., 2010), biomédicina (Caló; Khutoryanskiy, 2015), substrato para crescimento de células (Baysal et al., 2013), engenharia de tecidos e regeneração (Zhang et al., 2011; Saul; Williams, 2014), curativos (Sikareepaisan et al., 2011), biosensores (Russel et al., 1999), entre outras. Podem ser classificados quanto à sua origem, em sintéticos ou naturais (Ahmed, 2015). Hidrogéis naturais são preparados a partir de polímeros de origem natural tais como alginato, quitosana, amido, ácido hialurônico, entre outros. Hidrogéis sintéticos, por sua vez, são formados por reações de polimerização de monômeros sintéticos (acrilamida, ácido metacrílico)

(Bortolin, 2014). Estes são de fácil obtenção, apresentam grande poder de absorção e baixo custo. Contudo, por serem resistentes a decomposição por microorganismos, apresentam baixa biodegradabilidade, podendo resultar em poluição ambiental (Sabadini, 2015). A combinação de materiais sintéticos com naturais tais como polissacarídeos, além de ser biodegradável, pode melhorar as propriedades do material obtido, em relação à durabilidade, resistência mecânica e capacidade de absorção de água (Ahmed, 2015; Bortolin, 2014).

Dentre as diversas áreas de aplicação dos hidrogéis, a agricultura tem se destacado nas últimas décadas. Vários trabalhos foram desenvolvidos a partir dos anos 80 no sentido de estudar os hidrogéis como condicionadores de solo, principalmente como produtos capazes de reter e disponibilizar água para os cultivos agrícolas (Willingham Jr. et al. 1981; Wallace, 1987; Sayed et al. 1991). Desde então se constatou que a aplicação de hidrogéis ao solo ou ao substrato aumenta a retenção de água, reduz perdas de nutrientes por percolação e lixiviação, melhoram a aeração e drenagem do solo, resultando em efeitos positivos no crescimento e sobrevivência de mudas e na produtividade das culturas (Lamont; O'Connell, 1987; Hüttermann et al., 1999; Abedi-Koupai et al., 2008; Tohidi-Moghadam et al., 2009). Outra aplicação envolve o uso de hidrogéis como veículos carreadores de nutrientes. Mikkelsen et al. (1993), estudando a adição de hidrogéis à fertilizantes nitrogenados, observaram que as perdas de nitrogênio por lixiviação em solo arenoso foram reduzidas em 45% durante as quatro primeiras semanas, devido à adição do polímero ao fertilizante e permitiram um incremento de 40% na produção de uma gramínea em relação à aplicação de ureia convencional. Guo et al. (2005) trabalhando com ureia encapsulada em um hidrogel semissintético, constataram que o produto, além de apresentar a liberação lenta do fertilizante, contribui para a retenção de água no solo.

Embora a aplicação de hidrogel na agricultura venha mostrando resultados promissores, o preço final e a baixa biodegradabilidade do produto, impedem, muitas vezes, sua aplicação em larga escala (Bortolin, 2014). Nesse sentido, surge como alternativa ecológica e economicamente viável a obtenção de hidrogéis combinados a polissacarídeos (Guilherme, 2015). Aouada et al. (2009) desenvolveram um hidrogel baseado em poliacrilamida (PAAm) e metilcelulose (MC), observando que a presença da metilcelulose deixou a

matriz polimérica mais hidrofílica, além de aumentar o tamanho de poros, conduzindo a maiores graus de intumescimento. As propriedades de hidrogéis podem ainda ser modificadas pela incorporação de partículas inorgânicas, em especial argilominerais, formando compósitos ou ainda nanocompósitos, quando estes estão dispersos em escala nanométrica (Churochkina et al., 1998; De Paiva et al., 2006). Estes materiais, presentes abundantemente no solo, apresentam resistência mecânica, natureza hidrofílica e alta capacidade de troca catiônica, sendo facilmente incorporáveis às cadeias hidrofílicas dos hidrogéis (Kaşgöz et al., 2008). Desse modo, ao serem incorporados argilominerais na rede polimérica durante a síntese do hidrogel, esses são capazes de melhorar suas propriedades mecânicas, atuando também na sorção e dessorção controlada de íons (Li et al., 2008; Bortolin, 2014). Além disso, podem reduzir o custo de produção do material, especialmente se usados em maiores quantidades, tornando-o competitivo no mercado (Bortolin, 2014). Tais propriedades justificam a escolha de compósitos baseados em hidrogéis como veículos adequados para aplicações em sistemas de liberação lenta/controlada de insumos agrícolas (LI et al., 2009). Nesse sentido, Bortolin et al. (2013) sintetizaram uma nova série de hidrogéis compostos por poliacrilamida, metilcelulose e 50% de montmorilonita, em que a presença do argilomineral além de melhorar algumas propriedades dos materiais, reduziu custos. Além disso, ao ser incorporado aos hidrogéis, foi observado que a presença da montmorilonita no hidrogel permitiu uma liberação mais controlada do nitrogênio da ureia, em relação ao hidrogel puro, e quase 200 vezes mais lenta do que a ureia pura (Bortolin et al. 2013).

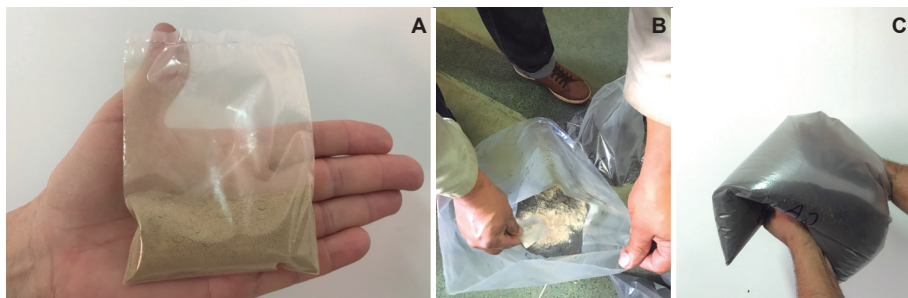
Estes resultados demonstram o grande potencial de aplicação de hidrogéis nanocompósitos como sistemas de liberação lenta/controlada de nutrientes (Bortolin et al. 2013). Entre os nutrientes passíveis de incorporação aos hidrogéis, tem-se o nitrogênio (N), no qual perdas na ordem de 50 a 80% por volatilização da amônia na aplicação em condições de campo de fertilizantes como a ureia justificam o interesse de se desenvolver alternativas que visam sua disponibilização de forma controlada (Lara Cabezas (1997); Volk (1959) apud Zavaschi (2010)). No cultivo em substrato com fertirrigação, já há diminuição considerável das perdas de N, majoritariamente pela natureza das matérias primas utilizadas, o que pode ser complementado pela utilização do hidrogel dadas às propriedades supracitadas.

Nenhuma pesquisa havia sido conduzida para estudar a aplicação de hidrogel nanocompósito para a produção de mudas de tomateiro e pimentão em substratos. Os trabalhos existentes, marcadamente com outras espécies de plantas, como supramencionado, são restritos ao uso em condições de campo quando incorporados ao solo com o objetivo de aumentar a produção agrícola (produtividade) ou superar os estresses abióticos. Estudos sobre a produção de mudas de hortaliças são imperativos, dada à importância econômica desta atividade nas condições brasileiras. Em 2016, um total de US\$ 18,68 milhões de lucro foi obtido com somente com a comercialização de mudas de tomateiro (Mapeamento..., 2017). Diante dessa significância, novas tecnologias devem ser adotadas e insumos disponibilizados visando à produção de mudas de alta qualidade (Jorge et al., 2016). Dessa forma, o objetivo desta publicação é apresentar recomendações de utilização de um hidrogel nanocompósito desenvolvido pela Embrapa para a produção de mudas de tomate e pimentão.

## Modo de aplicação

Na Embrapa Hortaliças, as experimentações com o hidrogel nanocompósito começaram em 2015. O hidrogel nanocompósito utilizado foi desenvolvido e produzido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP. É um polímero de escala nanométrica, na forma de pó (Figura 1), que foi sintetizado utilizando-se PAAm (composto de poliacrilamida) e o polissacarídeo biodegradável CMC (carboximetilcelulose) com peso molecular = 90.000 g/mol-1, 0,7 grupos carboximetilo por unidade de anidroglicose (Sigma-Aldrich). Os componentes foram formulados através de polimerização química de monômeros de acrilamida (AAM, Sigma-Aldrich) em uma solução aquosa contendo CMC e MMt (argila do tipo montmorilonita) ( $\text{Ca}_{0.6}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). A composição final do hidrogel foi a relação am (hidrogel [AAM + CMC]): m (MMt) (isto é, massa de hidrogel por unidade de massa de argila) na proporção de 1:1 (Bortolin et al., 2016), sendo definido como HP. Para o hidrogel com ureia, à composição supramencionada foi acrescido esse fertilizante, incorporado em sua síntese, com metade da massa total para cada um desses componentes (50% de ureia e 50% da composição do hidrogel acima descrita), sendo definido como HG (Figura 1).

Fotos: Marçal Henrique Amici Jorge



**Figura 1.** Detalhes de um saco plástico contendo o HG na forma de pó (A), da colocação do HG em um saco plástico com o substrato (B) e agitação vigorosa após a colocação (C).

Para avaliações com produção de mudas de tomate e pimentão, foram utilizadas sementes do híbrido BRS Nagai e do híbrido Platero, respectivamente, pois são cultivares plantadas nos principais polos produtores no Brasil, com altas produtividades e resistência às principais doenças. Foram utilizados substratos à base de fibra de coco, casca de pinus e turfa de esfagno, escolhidos por serem os mais comumente utilizados na produção comercial de mudas dessas espécies e demais hortaliças.

## Retenção de água

Com a adição do HP (hidrogel puro) em pequenas proporções, entre 1% e 2,5% (massa/massa), a substratos a base de turfa, pinus e fibra de coco ganhos da ordem de 15% a 25% foram obtidos, com reabsorções diárias que se mantiveram eficientes por mais de 25 dias (Figura 2). Estudos comprovam que a menor reserva de água disponível dentro de uma condição de baixa umidade do substrato se eleva quando o hidrogel é aplicado (Heiskanen, 1995). Isso indica que esse tipo de polímero retém principalmente água, que é prontamente liberada e, portanto, está disponível somente nessa condição de baixo potencial mátrico ( $<-50$  kPa). Assim é necessário um manejo adequado de irrigação para não saturar o substrato quando de sua utilização.

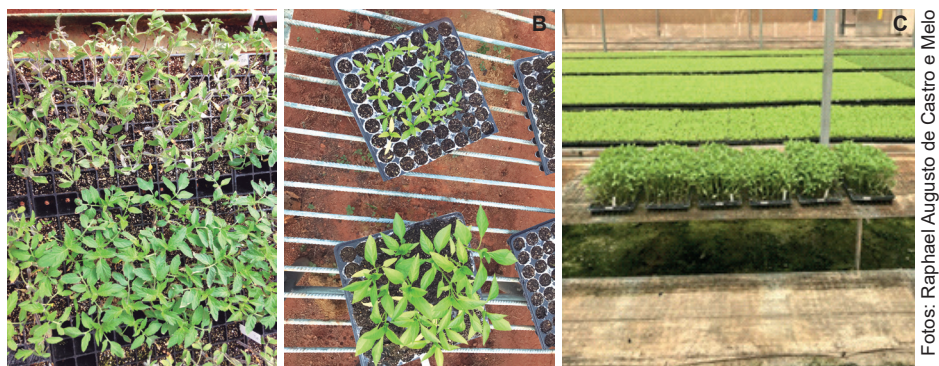




Fotos: Marçal Henrique Amici Jorge

**Figura 2.** HP acrescido a substratos, conduzidos em laboratório (A) e ambiente protegido (B) na Embrapa Hortaliças.

Com base nas avaliações exploratórias realizadas inicialmente, uma série de experimentações aplicadas e validações em escala comercial de produção foram conduzidas com mudas de pimentão e tomate (Figura 3).



Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo

**Figura 3.** Mudas de tomate (A) e de pimentão (B) produzidas em substratos formulados com e sem a adição de HG na Embrapa Hortaliças e de tomate (C) em viveiro comercial.

## Avaliação de parâmetros de qualidade de mudas - experimentações na Embrapa Hortaliças

A Tabela 1 mostra que para a emergência de plântulas de tomate aos 14 DAS não houve diferenças entre os substratos e doses de HP - (C0 – controle; C1 - 065g de HP/15ml de substrato e C2 – 0,130g de HP/15ml de

substrato). Assim a presença desse insumo não evidenciou efeito negativo ou fitotoxicidade.

**Tabela 1.** Porcentagem de emergência (%) de plântulas de tomate aos 14 dias após semeadura (DAS), produzidas em substratos formulados com três doses de HP.

Doses de HP	Turfa	Pinus	Fibra
Controle	84,72	66,67	73,61
C1	86,11	72,22	72,22
C2	82,64	75,00	75,69

A Tabela 2 mostra que na emergência de plântulas de tomate, as doses de HP favoreceram a emergência aos 7 e 14 DAS quando comparadas aos controles, com exceção do substrato turfa aos 14DAS .

**Tabela 2.** Porcentagem de emergência (%) de plântulas de tomate aos 7 e 14 dias após semeadura (DAS), produzidas em substratos formulados com três doses de HP.

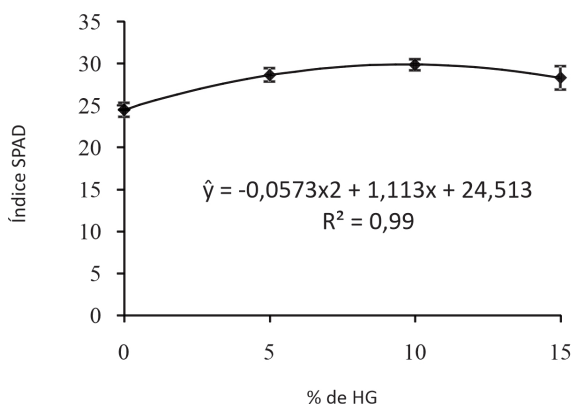
Doses de HP	Turfa	Pinus	Fibra
<b>7 DAS</b>			
Controle	56,25	10,42	18,75
C1	56,25	52,08	54,17
C2	50,00	41,67	43,75
<b>14 DAS</b>			
Controle	93,75	60,42	70,83
C1	83,33	79,17	77,08
C2	83,33	75,00	95,83

Dessa maneira esse insumo funciona como um ingrediente que misturado ao substrato pode favorecer os processos de emergência. A Tabela 3 mostra que houve efeito das dosagens de hidrogel na massa fresca e massa seca e interação com os substratos utilizados. O substrato a base de turfa apresentou melhores médias, dadas as suas boas características físicas - capacidade de retenção de água (55%) e densidade (145 kg/m<sup>3</sup>). A manutenção da umidade de forma estável pelo HP faz com que os nutrientes estejam disponíveis na solução, influenciando assim o desenvolvimento das plântulas.

**Tabela 3.** Massas fresca e seca de parte aérea (g) de plântulas de tomate aos 14 dias após semeadura (DAS), produzidas em substratos formulados com três doses de HP.

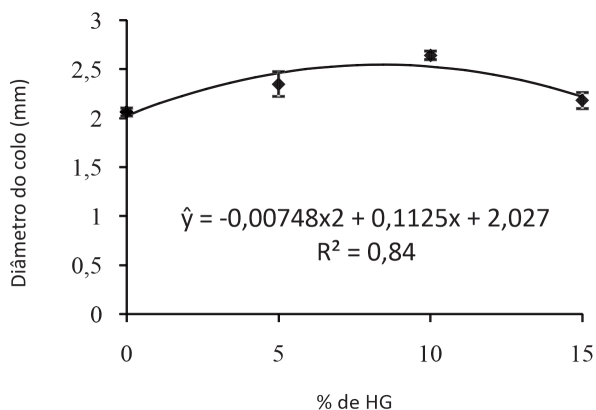
Doses de HP	Turfa	Pinus	Fibra
Massa fresca			
C0	1,11	0,36	0,50
C1	1,11	0,34	0,67
C2	0,91	0,41	0,76
Massa seca			
C0	0,23	0,07	0,10
C1	0,23	0,06	0,14
C2	0,17	0,08	0,17

No Gráfico 1, em experimento com HG, o conteúdo estimado pelo índice SPAD, que pode determinar diretamente o potencial produtivo de fotoassimilados e ainda indiretamente definir status nutritivo da planta, mostrou tendência de incremento, com melhor dosagem de 9,71%, tendo demais valores semelhantes a resultados relatados na literatura para mudas de tomate nas condições dos Estados Unidos e Espanha, com valores SPAD de 25 a 30 (Paul; Metzger, 2001; Olaria et al., 2016).



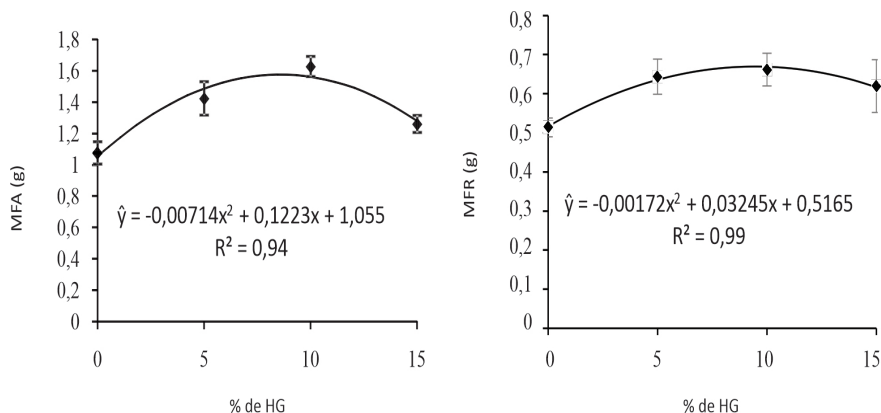
**Gráfico 1.** Índice SPAD medido de folhas de mudas de tomate produzidas em substrato à base de casca de pinus formulado com HG.

Nesse mesmo experimento, demonstra-se que um maior diâmetro do colo pode ser um indicativo de plantas vigorosas, representando uma menor probabilidade da muda se curvar durante o transplântio e, portanto, uma maior porcentagem de enraizamento. No Gráfico 2, os valores de diâmetro do caule entre as dosagens de HG são considerados dentro da faixa ótima para mudas de tomate (2 a 2,5 mm) de acordo com Luna et al. (2014).



**Gráfico 2.** Diâmetro do colo de mudas de tomate produzidas em substrato à base de casca de pinus formulado com HG.

No Gráfico 3, as concentrações de HG que proporcionaram os melhores resultados de produção de MFA e MFR foram 8,60 e 9,43, respectivamente. O incremento da massa fresca e das raízes pode ser explicado pelo fato do nitrogênio da ureia presente no hidrogel ser um dos nutrientes mais extraídos pela planta, sendo também o segundo macronutriente mais extraído pelas hortaliças em geral, induzindo ao rápido desenvolvimento vegetativo. Outro fator que pode contribuir para essa variação, é que a presença do polímero é capaz de reduzir a lixiviação do N. Além disso, pode ter levado a uma maior disponibilidade de nutrientes para o sistema radicular das plântulas, fazendo com que houvesse contato com maior volume de substrato, permitindo acesso a outros nutrientes além do N.



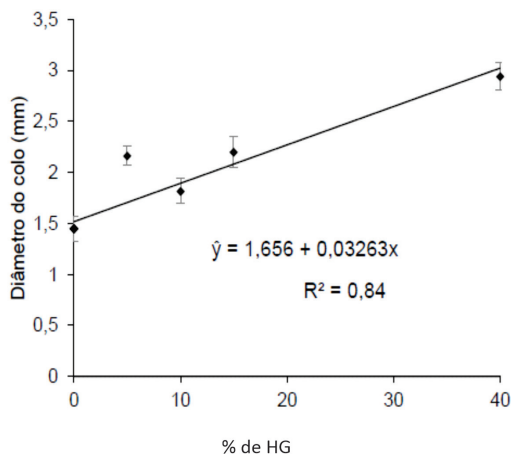
**Gráfico 3.** Massas frescas da parte aérea (MFA) e de raízes de mudas (MFR) de tomate produzidas em substrato à base de casca de pinus formulado com HG.

Na Tabela 4, a resposta da emergência aos 14 DAS não houve significância da dosagem de HG, confirmando a ação não inibitória da emergência de plântulas de pimentão. Cerca de 80% (em média) das plantas dos tratamentos emergiram ao final da avaliação.

**Tabela 4.** Porcentagem de emergência de plântulas de pimentão aos 14 dias após semeadura (DAS) produzidas com substrato à base de casca de pinus com HG.

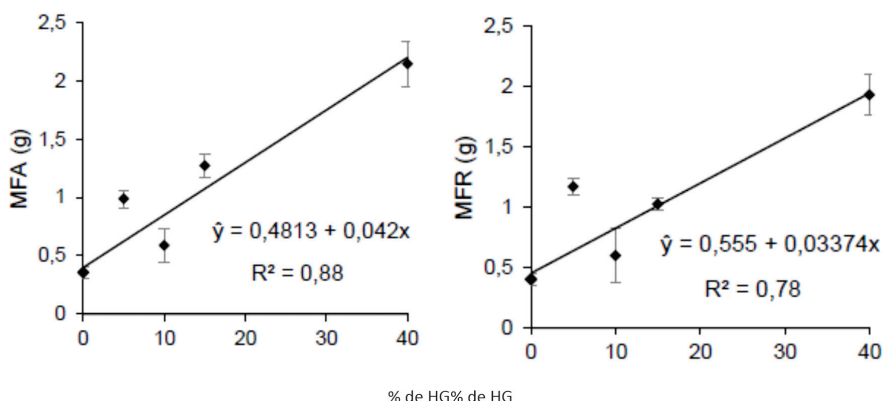
Proporções de HG (%)	Pinus
0	76,00
5	66,00
10	78,00
15	82,00
40	83,00

De acordo com o Gráfico 4, nas mudas de pimentão houve incremento do diâmetro do colo, com resposta linear positiva até a dosagem de 40%, sendo necessários trabalhos avaliando dosagens acima desse valor (Butruille, 2018).



**Gráfico 4.** Diâmetro do colo de mudas de pimentão produzidas em substrato à base de casca de pinus formulado com HG com cinco proporções de N-ureia.

Conforme mostrado no Gráfico 5, para a massa fresca da parte aérea e raízes do pimentão também houve incremento linear desses parâmetros até a proporção 40% (Butruille, 2018). As mudas de pimentão expostas a uma dosagem maior que as utilizadas nas mudas de tomate denotam a resposta diferenciada dessas solanáceas, um indicativo que cada espécie pode apresentar resultados distintos, sendo ainda necessário avaliar dosagens acima desse valor para diferentes cultivares dessa espécie.



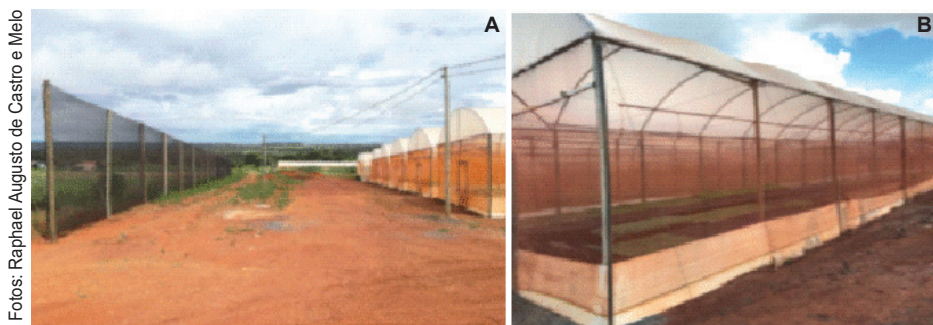
**Gráfico 5.** Massas frescas de parte aérea (MFA) e de raízes (MFR) de mudas de pimentão produzidas em substrato à base de casca de pinus formulado com HG.

## Avaliação de parâmetros de qualidade de mudas – validação em viveiros comerciais

Foram estabelecidos dois ensaios de validação em viveiros na região de Brazlândia, DF, especializados na produção de mudas de hortaliças. Nessa etapa buscou-se utilizar HG nas dosagens que apresentaram melhores respostas, tendo em conta as características do sistema de produção adotado em cada local. Assim, por serem ambientes de produção para comercialização, foram adotadas características de simples mensuração das plantas e a apresentação de seus valores de forma descritiva.

## Viveiro 1

Mudas de tomateiro da cultivar BRS Nagai foram produzidas em bandejas de plástico rígido com 200 células preenchidas com substrato comercial Vivatto® (CE  $0,7 \pm 0,3$ , CRA 150% e pH  $5,6 \pm 0,5$ ). A semeadura foi realizada em equipamento automático a vácuo (Malfi®). O ambiente consistia em estufa com cobertura de plástico PEBD, com altura de pé direito de 3,5 m, laterais de tela anti-afídeo e sistema de irrigação e fertirrigação por microaspersão (Figura 4). As bancadas para as bandejas eram de arame liso a uma altura de 50 cm acima do nível do solo.



**Figura 4.** Viveiro 1 - Área externa (A) e interna (B) com detalhe para o sistema de irrigação por microaspersão.

Mudas da cultivar BRS Nagai utilizando o HG no sistema do Viveiro 1 apresentaram como destaque plântulas com altura acima de 10 cm e diâmetro médio de caule de 3,3 mm, superando o tratamento controle (Figura 5).



**Figura 5.** Mudanças de tomateiro BRS Nagai com utilização de HG.



Essas características atendem as exigências do viveirista e estão de acordo com Luna et al. (2014). Esses autores afirmam que mudas com mais de 15 cm de altura não são convenientes, pois o vento pode quebrar o caule no momento do transplântio. Além disso, exigem mais água quando transplantadas e suas raízes podem provavelmente ser insuficientes para toda a planta nos primeiros dias após essa etapa. O diâmetro do caule indica a qualidade da muda de tomate. Um caule mais espesso representa uma menor probabilidade de que a planta se dobre durante o transplântio e, portanto, uma porcentagem maior de enraizamento.

## Viveiro 2

Mudas de pimentão da cultivar Dahra RX foram produzidas em bandejas de plástico flexível com 128 células preenchidas com substrato comercial Bioplant® (CE 0,6; CRA 280% e pH  $6,4 \pm 0,5$ ). A sementeira e preenchimento das bandejas foi realizada em equipamento automático (Malfi®). O ambiente consistia em estufa do tipo teto em arco com cobertura de plástico PEBD, com altura de pé direito de 5m, laterais de tela anti-afídeo e sistema de irrigação/fertirrigação por barra (Figura 6). As bancadas para as bandejas eram de arame liso a uma altura de 40 cm acima do nível do solo.



Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo

**Figura 6.** Viveiro 2 – Área externa (A) e interna (B) com detalhe da estrutura de barra de irrigação e fertirrigação.

As mudas de pimentão utilizando HG apresentaram como destaque 6 folhas definitivas, superando o controle com 4 folhas (Figura 7).



Foto: Raphael Augusto de Castro e Melo

**Figura 7.** Mudras de pimentão Dahra RX com utilização de HG.

O número de folhas interfere diretamente no momento de decisão em que a muda será transplantada e indiretamente na área foliar, já que pode representar uma maior superfície fotossinteticamente ativa. Isso favorece a produção de carboidratos, que combinada à absorção de água e minerais, interfere na síntese de proteínas e outros componentes orgânicos que produzem plantas com mais biomassa. Com relação à altura, as mudas atendem as exigências do produtor, estando de acordo com o padrão relatado para essa espécie estabelecido por Henz et al (2007) como acima de 10 cm.

## Considerações finais

Os hidrogéis nanocompósito (HP e HG) foram avaliados em condições experimentais e em áreas de produção comercial, apresentando resultados promissores com relação à qualidade das mudas de tomate e pimentão. Tendo em conta que a comercialização de hidrogéis sintéticos convencionais é uma realidade e que possíveis efeitos adversos desse insumo inovador não foram observados durante sua validação, espera-se que ao ser adicionado ou formulado com substratos esse insumo contribua para produção de mudas dessas espécies. Para que possa se tornar uma alternativa a essa

cadeia, iniciativas que visem posicioná-lo estrategicamente como um ativo tecnológico, endereçando-o ao mercado dado suas vantagens competitivas são prementes.

## Referências

- ABEDI-KOUPAI, J.; SOHRAB, F.; SWARBRICK, G. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 2, p. 317-331, 2008.
- AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of advanced research**, v. 6, n. 2, p. 105-121, 2015.
- AOUADA, F. A.; MUNIZ, E. C.; VAZ, C. M.; MATTOSO, L. H. Correlação entre parâmetros da cinética de intumescimento com características estruturais e hidrofílicas de hidrogéis de poliacrilamida e metilcelulose. In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1482-1490, 2009.
- AZEVEDO, T. L de F.; BERTONHA, A.; GONÇALVES, A. C. A. Uso de hidrogel na agricultura. **Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 23-31, 2002.
- BAYSAL, K.; AROGUZ, A. Z.; ADIGUZEL, Z.; BAYSAL, B. M. Chitosan/alginate crosslinked hydrogels: Preparation, characterization and application for cell growth purposes. **International journal of biological macromolecules**, v. 59, p. 342-348, 2013.
- BERNARDI, M. R.; JUNIOR, M. S.; DANIEL O; VITORINO, A. C T. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, v. 18, n. 1, 2012.
- BORTOLIN, A. **Desenvolvimento de nanocompósitos baseados em hidrogéis aplicados à liberação de nutrientes agrícolas**. 75 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.
- BORTOLIN, A.; AOUADA, F. A.; MATTOSO, L. H. C. & RIBEIRO, C. Nanocomposite PAAm/ methyl cellulose/montmorillonite hydrogel: evidence of synergistic effects for the slow release of fertilizers. **Journal of Agriculture Food Chemistry**, v.61, n.31, p. 7431, 2013.
- BUTRUILLE, N. M dos S. **Utilização de hidrogel nanocompósito com liberação controlada de n-ureia em substrato para produção de mudas de pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 49 p. Monografia. Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- CALÓ, E.; KHUTORYANSKIY, V. V. Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. **European Polymer Journal**, v. 65, p. 252-267, 2015.
- CHUROCHKINA, N. A.; STARODOUBTSEV, S. G.; KHOKHLOV, A. R. Swelling and collapse of the gel composites based on neutral and slightly charged poly (acrylamide) gels containing Na-montmorillonite. **Polymer Gels and Networks**, v. 6, n. 3-4, p. 205-215, 1998.
- DE PAIVA, Lucilene B.; MORALES, Ana R.; GUIMARÃES, Thiago R. Propriedades mecânicas de nanocompósitos de polipropileno e montmorilonita organofílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 2, 2006.

GUILHERME, M. R.; AOUADA, F. A.; FAJARDO, A. R.; MARTINS, A. F.; PAULINO, A. T.; DAVI, M. F.; MUNIZ, E. C. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. **European Polymer Journal**, v. 72, p. 365-385, 2015.

GUO, M.; LIU, M.; ZHAN, F.; WU, L. Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 44, n. 12, p. 4206-4211, 2005.

HAMIDI, M.; AZADI, A.; RAFIEI, P. Hydrogel nanoparticles in drug delivery. **Advanced drug delivery reviews**, v. 60, n. 15, p. 1638-1649, 2008.

HEISKANEN, J. Physical properties of two-component growth media based on Sphagnum peat and their implications for plant-available water and aeration. **Plant and Soil**, v. 172, p. 45-54, 1995.

HENZ, G. P.; COSTA, C. S. R.; CARVALHO, S.; BIANCI, C. A. Como cultivar pimentão. Caderno Técnico – **Cultivar Hortaliças e Frutas**, n. 42, 2007, 6.p.

HÜTTERMANN, A.; ZOMMORODI, M.; REISE, K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought. **Soil and Tillage Research**, v. 50, n. 3-4, p. 295-304, 1999.

JORGE, M. H. A.; ANDRADE, R. J. A.; COSTA, E. O mercado de mudas de hortaliças. In: NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. B. (Ed.). *Produção de mudas de hortaliças*. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p.57 – 86.

KAŞGÖZ, H.; DURMUŞ, A.; KAŞGÖZ, A. Enhanced swelling and adsorption properties of AAm-AMPSNa/clay hydrogel nanocomposites for heavy metal ion removal. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 19, n. 3, p. 213-220, 2008.

LAMONT, G.P.; O'CONNELL, M.A. Shelf-life of bedding plants as influenced by potting media and hydrogels. **Scientia Horticulturae**, v.31, p.141-149, 1987.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

LI, J.; LU, J.; LI, Y. Carboxymethylcellulose/bentonite composite gels: water sorption behavior and controlled release of herbicide. **Journal of applied polymer science**, v. 112, n. 1, p. 261-268, 2009.

LI, P.; KIM, N. H.; HEO, S. B.; LEE, J. H. Novel PAAm/Laponite clay nanocomposite hydrogels with improved cationic dye adsorption behavior. **Composites Part B: Engineering**, v. 39, n. 5, p. 756-763, 2008.

LUNA, A. M.; GARCÍA E. R.; SERVÍN, J. L.C.; HERRERA, A. L.; ARELLANO, J. S. Evaluation of Different Concentrations of Nitrogen for Tomato Seedling Production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Universal Journal of Agricultural Research** v. 2, n. 8, p. 305-312. 2014.

MIKKELSEN, R. L.; BEHEL, A. D.; WILLIAMS, H. M. Addition of gel-forming hydrophilic polymers to nitrogen fertilizer solutions. **Fertilizer research**, v. 36, n. 1, p. 55-61, 1993.

- NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P.; CANTLIFFE D. J. Qualidade das sementes e estabelecimento das plantas. In: NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA R. B (Ed.). **Produção de mudas de hortaliças**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p.57 – 86.
- OLARIA, M.; NEBOT, J. F.; MOLINA, H.; TRONCHO, P.; LAPEÑA, L.; LLORENS, E. Effect of different substrates for organic agriculture in seedling development of traditional species of Solanaceae. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 1, p. 0801, 2016.
- PAUL, L. C.; METZGER, J. D. Impact of vermicompost on vegetable transplant quality. **HortScience**, v. 40, n. 7, p. 2020-2023, 2005.
- PEPPAS, N. A.; BURES, P.; LEOBANDUNG, W.; ICHIKAWA, H. Hydrogels in pharmaceutical formulations. **European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics**, v. 50, n. 1, p. 27-46, 2000.
- RUSSELL, R. J.; PISHKO, M. V.; GEFRIDES, C. C.; MCSHANE, M. J.; COTE, G. L. A fluorescence-based glucose biosensor using concanavalin A and dextran encapsulated in a poly (ethylene glycol) hydrogel. **Analytical Chemistry**, v. 71, n. 15, p. 3126-3132, 1999.
- SABADINI, R. C. **Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Carlos 2015.
- SANTOS, M. D.; SEDIYAMA, M. A. N.; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M.; REIGADO, F. R. Produção de mudas de pimentão em substratos à base de vermicomposto. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 572-578, 2010.
- SAUL, J. M.; WILLIAMS, D. F. Hydrogels in regenerative medicine. In: **Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices**. 2014. p. 279-302.
- SAYED, H.; KIRKWOOD, R.C.; GRAHAM, N.B. The effects of a hydrogel polymer on the growth of certain horticultural crops under saline conditions. **Journal of Experimental Botany**, v.42, n.240, p.891-899, 1991.
- SIKAREEPAISAN, P.; RUKTANONCHAI, U.; SUPAPHOL, P. Preparation and characterization of asiaticoside-loaded alginate films and their potential for use as effectual wound dressings. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 4, p. 1457-1469, 2011.
- SINGH, A.; SHARMA, P. K.; GARG, V. K.; GARG, G. Hydrogels: A review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 4, n. 2, p. 97-105, 2010.
- TOHIDI-MOGHADAM, H. R.; SHIRANI-RAD, A. H.; NOUR-MOHAMMADI, G.; HABIBI, D.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; MASHHADI-AKBAR-BOOJAR, M.; DOLATABADIAN, A. Response of six oilseed rape genotypes to water stress and hydrogel application. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, 2009.
- TRANI, P. E.; FELTRIN, D. M.; POTT, C. A.; SCHWINGEL, M. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 256-260, 2007.
- VOLK, G. M. Volatile Loss of Ammonia Following Surface Application of Urea to Turf or Bare Soils 1. **Agronomy Journal**, v. 51, n. 12, p. 746-749, 1959.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ZHANG, L.; LI, K.; XIAO, W.; ZHENG, L.; XIAO, Y.; FAN, H.; & ZHANG, X. Preparation of collagen–chondroitin sulfate–hyaluronic acid hybrid hydrogel scaffolds and cell compatibility in vitro. **Carbohydrate polymers**, v. 84, n. 1, p. 118-125, 2011.

ZHANG, X.; WU, D.; CHU, C. Synthesis, characterization and controlled drug release of thermosensitive IPN–PNIPAAm hydrogels. **Biomaterials**, v. 25, n. 17, p. 3793-3805, 2004.

WALLACE, A. Anionic polyacrylamide treatment of soil improves seedling emergence and growth. **Horticulture Science**, v.22, p.951, 1987.

WILLINGHAM, Jr.; COFFEY, D. L. Influence of hydrophilic amended soil on growth of tomato transplants. **Horticulture Science**, v.16, n.3, p.289, 1981.



Exemplares desta publicação  
podem ser adquiridos na:

**Embrapa Hortaliças**

Rodovia BR-060,  
trecho Brasília-Anápolis, km 9  
Caixa Postal 218  
Brasília-DF  
CEP 70.351-970  
Fone: (61) 3385.9000  
Fax: (61) 3556.5744  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)  
[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)

1ª edição

1ª impressão (2019): 1.000 exemplares



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Hortaliças

Presidente

*Henrique Martins Gianvecchio Carvalho*

Editora Técnica

*Flávia M. V. T. Clemente*

Secretária

*Clidineia Inez do Nascimento*

Membros

*Geovane Bernardo Amaro*

*Lucimeire Pilon*

*Raphael Augusto de Castro e Melo*

*Carlos Alberto Lopes*

*Marçal Henrique Amici Jorge*

*Alexandre Augusto de Moraes*

*Giovani Olegário da Silva*

*Francisco Herbeth Costa dos Santos*

*Caroline Jácome Costa*

*Iriani Rodrigues Maldonade*

*Francisco Vilela Resende*

*Italo Moraes Rocha Guedes*

Supervisor Editorial

*George James*

Normalização Bibliográfica

*Antonia Veras de Souza*

Tratamento de ilustrações

*André L. Garcia*

Projeto gráfico da coleção

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica

*André L. Garcia*

Foto da capa

*Raphael Augusto de Castro e Melo*